

Projekt konstrukcji pawilonu handlowego

Structural design of a shopping pavilion

inż. Cezary Gostyński, dr inż. Elżbieta Grochowska (ORCID: 0000-0003-0766-2691) – promotor,
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski

DOI: 10.5604/01.3001.0054.1342

Streszczenie: Przedmiotem opracowania jest projekt konstrukcji dwupoziomowego pawilonu handlowego w konstrukcji stalowej ze stropem zespolonym stalowo-betonowym na blasze fałdowej. Proces projektowania składał się z opracowania koncepcji architektonicznej, rozwiązań funkcjonalnych, obliczeń statyczno-wytrzymałościowych ram stalowych, płatwi, stropu, fundamentu i wybranych połączeń oraz wykonania rysunków technicznych.

Słowa kluczowe: konstrukcja stalowa, strop zespolony, blacha fałdowa, połączenia.

Abstract: The subject of the study is the design of a two-story commercial pavilion in a steel structure with a composite steel-concrete ceiling on a corrugated sheet metal. The design process consisted of developing an architectural concept, functional solutions, static and strength calculations of steel frames, purlins, ceiling, foundation and selected connections, as well as preparing technical drawings.

Keywords: steel structure, composite ceiling, corrugated sheet, connections.

1. Wprowadzenie

Wzrastająca liczba osób w społeczeństwach i ich potrzeby prowadzą do powstawania nowych różnego rodzaju produktów oraz miejsc ich sprzedaży. Wiele powierzchni przeznaczonych do handlu jest zarezerwowanych lub niewystarzających. W celu zaspokojenia potrzeb społeczeństwa powstają coraz to nowe obiekty. Jednym z nich są pawilony handlowe, najczęściej kojarzone jako małometrażowe, w konstrukcji stalowej. Dysponując większym terenem, korzystnym rozwiązaniem będzie budowa wielometrażowego obiektu zarówno parterowego, jak i wielokondygnacyjnego. Przełoży się to na zwiększoną liczbę lokali oraz przestrzeń handlową.

Przedmiotem opracowania jest projekt konstrukcji dwupoziomowego pawilonu handlowego w konstrukcji stalowej ze stropem zespolonym stalowo-betonowym. Proces projektowania składał się z opracowania koncepcji architektonicznej, części obliczeniowej wybranych elementów i połączeń oraz wykonania rysunków technicznych. Układ konstrukcyjny obiektu pokazano na rysunku 1.

2. Układ architektoniczny

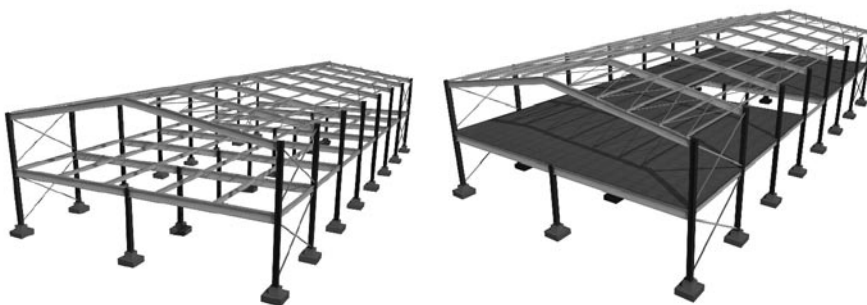
Podczas opracowania koncepcji architektonicznej takiego obiektu uwzględniono różne aspekty. Zważywszy na piętrowy charakter zastosowano w projekcie udogodnienia dla dostawców i osób niepełnosprawnych w postaci dźwigu

towarowego oraz windy osobowej. Na wielometrażowej przestrzeni przewidziano sześć mniejszych lokali na parterze oraz dwa większe na górnej kondygnacji. Każda z powierzchni handlowej ma oddzielny magazyn. Rzuty architektoniczne poszczególnych kondygnacji przedstawiono na rysunku 2.

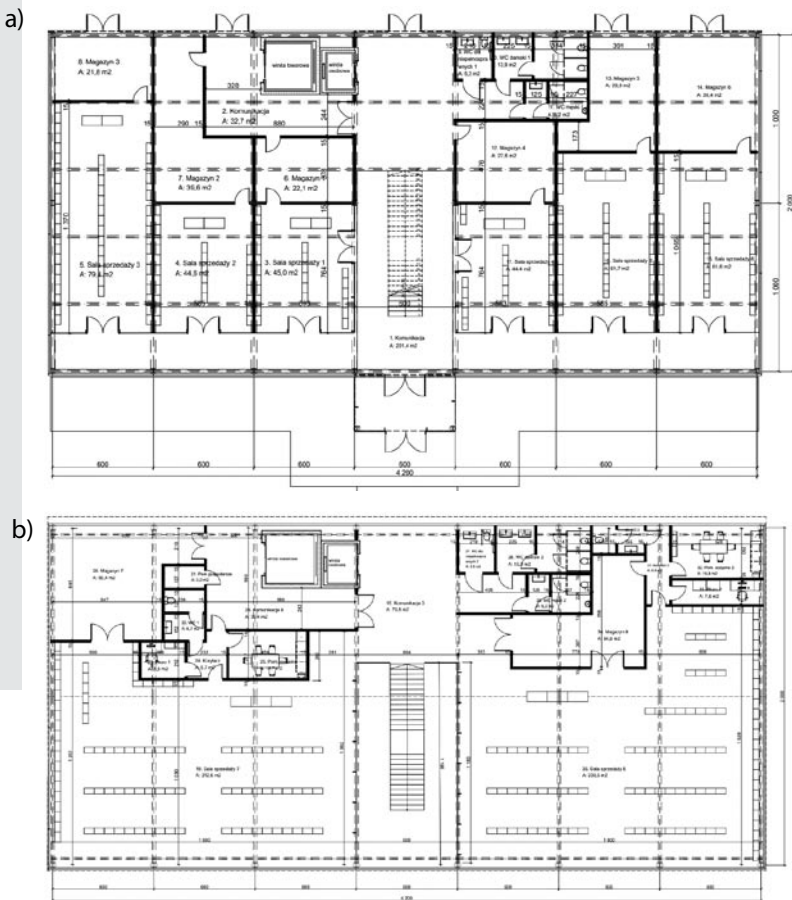
3. Projekt konstrukcji pawilonu handlowego

3.1. Charakterystyka konstrukcji

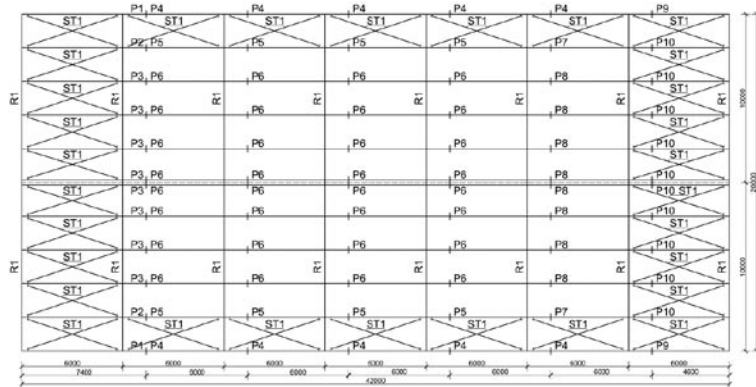
Projektowany pawilon jest obiektem dwukondygnacyjnym z przeznaczeniem na cele handlowe. Wymiary rzutu poziomego w osiach wynoszą: 42,00x 20,00 m, wysokość słupa ramy: 8,00 m, a wysokość w kalenicy: 9,70 m. Spadek połaci dachowej wynosi 17%. Pokrycie dachu zaprojektowano z dwóch warstw stalowej blachy fałdowej T-55 o grubości 0,75 mm oraz warstw izolacyjnych (folia PE i wełna mineralna o grubości 20 cm) pomiędzy nimi opartych na płatwiach ciągłych. Obudowę ścienną stanowią płyty warstwowe o grubości 100 mm [W1], z rdzeniem ze sztywnej



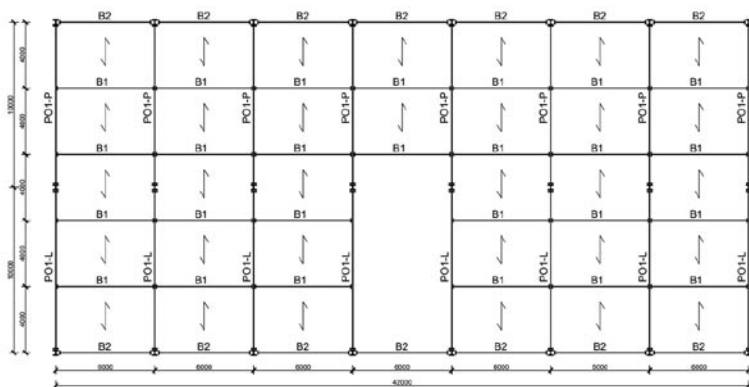
Rys. 1. Układ konstrukcyjny obiektu



Rys. 2. Rzuty: a) parteru, b) piętra



Rys. 3. Rzut konstrukcji dachu



Rys. 4. Rzut konstrukcji stropu

pianki poliuretanowej zamocowane bezpośrednio do słupów ramy w pozycji poziomej. Główny układ poprzeczny w postaci ramy portalowej z pełnościennych kształtowników stalowych przyjęto w rozstawie co 6,00 m. Stateczność obiektu w kierunku podłużnym zapewniają stężenia. Rozmieszczenie ram, płatew oraz stężeń połączeniowych poprzecznych i podłużnych konstrukcji dachu pokazano na rysunku 3.

W połowie wysokości osiowej słupów ramy usytuowano podciąg podparty w środku rozpiętości przez dodatkowy słup. Na podciągu oraz słupach ramy oparto belki drugorzędne, które zespolono z płytą zespoloną przenoszącą obciążenie od stropu. Układ belek głównych i pośrednich stropu oraz kierunek ułożenia blach fałdowych zastosowano taki, jak widać na rysunku 4.

3.2. Obciążenia działające na układ ramowy

Do analizy statyczno-wytrzymałościowej wybrano najbardziej obciążoną ramę przedszkrajną. Powierzchniowe oddziaływania (kN/m^2) od ciężarów własnych pokrycia, konstrukcji ramy oraz klimatyczne zostały zebrane z szerokości 6,0 m (rozstaw płaskich ram) i przedstawione w postaci liniowych oddziaływań na pręty ramy (kN/m).

Obciążenie podciągu w głównym układzie nośnym sprowadzono do sił skupionych (kN) w postaci reakcji podporowych z belek drugorzędnych (zespolonych), które przenoszą obciążenie od stropu.

3.3. Obciążenie śniegiem

Zgodnie z [N3] budynek zlokalizowany jest w 1 strefie obciążenia śniegiem. Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu wynosi $0,70 \text{ kN/m}^2$. Obciążenie śniegiem dachu ustalono dla trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej, co pokazano na rysunku 5.

3.4. Oddziaływanie wiatru

Obiekt zlokalizowano w 1 strefie obciążenia wiatrem. Przyjęto kategorię terenu III, co odpowiada obszarom regularnie pokrytym roślinnością albo budynkami z pojedynczymi przeszkodami oddalonymi od siebie na odległość nie większą niż 20 ich wysokości, takim jak wsie, tereny podmiejskie, stałe lasy. Na podstawie tych danych przyjęto bazową prędkość i ciśnienie prędkości wiatru oraz pozostałe niezbędne parametry. Pola oddziaływań wiatru są zgodne z [N4].

Rozpatrzono dwa przypadki – przypadek A, kiedy wiatr wieje na ścianę podłużną ($\Theta = 0^\circ$)

oraz przypadek B, kiedy wiatr wieje na ścianę poprzeczną ($\theta = 90^\circ$). Użytkowano w ten sposób trzy przypadki oddziaływania wiatru przedstawione na rysunku 6.

3.5. Obciążenie zmienne

Analizowany dach zakwalifikowano do kategorii użytkowania H, do której należą dachy bez dostępu z wyjątkiem zwykłego utrzymania i napraw [N2]. Przyjęto zalecane wartości obciążenia na powierzchnię rzutu dachu: $q_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$, $Q_k = 1,0 \text{ kN}$.

W przypadku stropu zespolonego przyjęto obciążenie użytkowe wg kategorii D1 ($4,0 \text{ kN/m}^2$) [N2] oraz obciążenie od ścian działowych ($0,5 \text{ kN/m}^2$).

3.6. Obliczenia statyczne – wyznaczenie sił wewnętrznych

Do przeprowadzenia obliczeń statyczno-wytrzymałościowych zastosowano programy komputerowe: Soldis Projektant X1 oraz Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2023. Siły wewnętrzne przy projektowaniu stropu zespolonego wyznaczono dla dwóch etapów: realizacji i eksploatacji. Dla układu ramowego kombinacje obciążeń ustalono zgodnie z [N1] dla stanów granicznych nośności (SGN: STR) – kombinacje podstawowe w trwałych i przejściowych sytuacjach obliczeniowych.

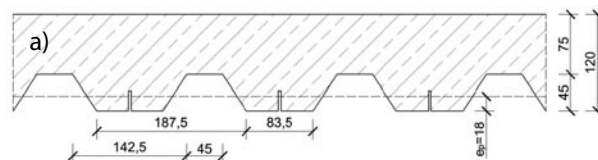
3.7. Projektowanie wybranych elementów konstrukcyjnych

Płatwie dachowe

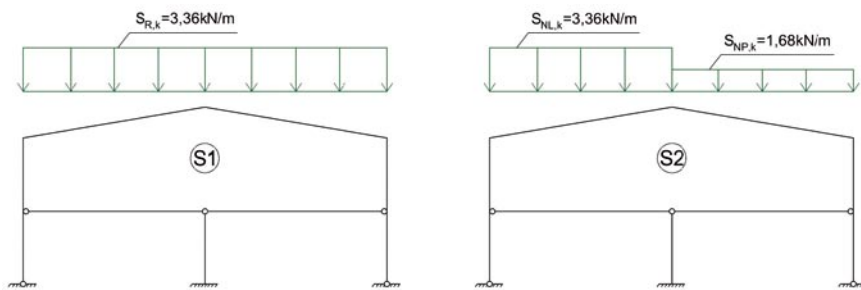
Rozpiętość przęsła płatwi wynosiła 6,00 m, a rozstaw między płatwiami na poziomie pasa górnego 2,03 m. Dla wyznaczonych sił wewnętrznych o schemacie statycznym (w fazie eksploatacji) belki ciągłej na długości obiektu, przyjęto przekrój z dwuteownika walcowanego IPE 140 i stali S 235. Sprawdzone warunki SGN oraz SGU.

Płyta zespolona na blasze fałdowej

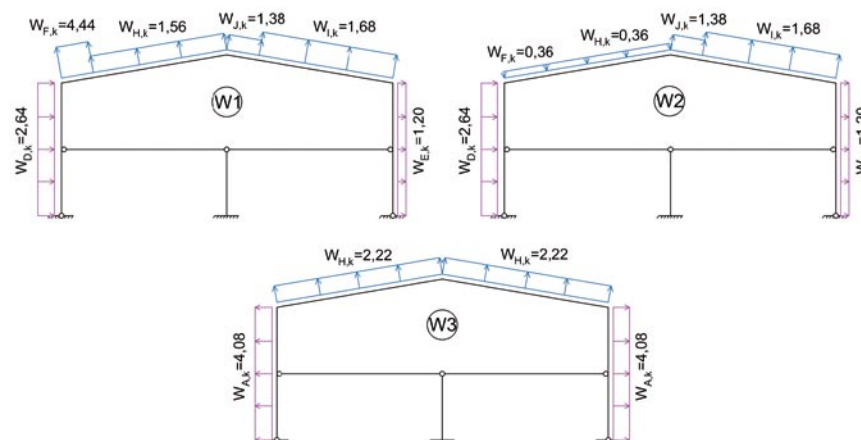
Płytę zespoloną stalowo-betonową o grubości całkowitej $h = 120 \text{ mm}$ zwymiarowano zgodnie z zaleceniami zawartymi w [6]. Do zespolenia z betonem zastosowano blachę fałdową PEVA o wysokości fałdy 45 mm i grubości nominalnej $t = 9 \text{ mm}$, obustronnie ocynkowaną ze stali Z 236. Przyjęta klasa betonu to C30/37. Zbrojenie



Rys. 7. Przekrój płyty zespolonej na blasze fałdowej PEVA 45 (a), przekrój belki zespolonej z płytą (b)

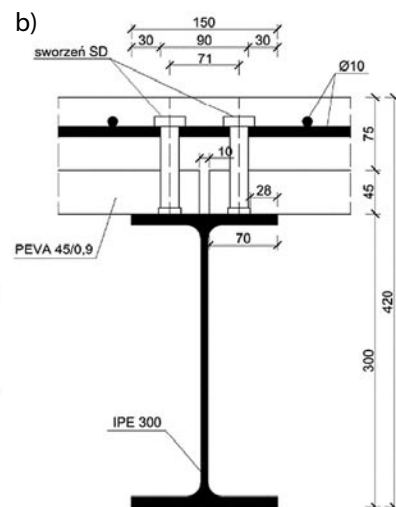


Rys. 5. Kombinacje charakterystyczne obciążenia śniegiem



Rys. 6. Oddziaływanie wiatru na układ ramowy (wartości charakterystyczne w kN/m)

płyty zaprojektowano z prętów $\varnothing 10 \text{ mm}$ ze stali zbrojeniowej (spajalnej) A-III. W fazie realizacji (montażowej) przyjęto schemat statyczny płyty ciągłej dwuprzęsłowej. Podporami skrajnymi (stałymi) są belki dwuteowe, a podporę środkową potraktowano jako podparcie tymczasowe w fazie montażowej. W fazie montażu blacha fałdowa jest traktowana jako deskowanie (tracone) i sprawdzono jej nośność na zginanie, docisk miejscowy oraz ugięcie. W fazie eksploatacji, po zespoleniu blachy z betonem, usunięto podporę montażową i przyjęto schemat statyczny płyty wolnopodpartej jedno-przędłowej. Sprawdzone stan graniczny nośności na zginanie, ścinanie pionowe i ugięcie płyty zespolonej. Ponadto przyjęto, że nie nastąpi rozwarstwienie blachy od betonu, ze względu na profil blachy, zatem nie sprawdzono płyty na rozwarstwienie. Głębokość oparcia płyty na belce stalowej



przyjęto 7 cm. Przekrój poprzeczny płyty zespolonej przedstawiono na rysunku 7a.

Belka stropowa zespolona

Stalowa belka stropowa o przekroju dwuteowym z IPE 300 (rys. 7b), ze stali S 235 o schemacie statycznym belki wolno podpartej stanowiła podporę płyty zespolonej. Rozpiętość belki w osiach konstrukcyjnych wynosi 6,00 m. Belki stropowe w rozstawie co 4,00 m połączono przegubowo z podciągami lub w przypadku belek skrajnych ze słupami. Obliczenia wykonano zgodnie z [6]. Zespolenie belki zrealizowano przez zastosowanie łączników sworzniowych z główką (w dwóch rzędach w układzie przestawnym). Przyjęty przekrój oraz liczba sworzni spełniały wymagania normowe [N8] dotyczące stanów SGN oraz SGU dla belki zespolonej.

Podciąg stalowy

Podciąg zaprojektowano z dwuteownika HEB 550 ze stali S 235. Na obu końcach połączony jest przegubowo ze słupami. Przyjęto, że podciąg w fazie eksploatacji jest zabezpieczony przed zwichrzeniem przez połączenie z belkami stropowymi, które są zabezpieczone przed utratą płaskiej postaci zginania przez zespolenie ze sztywną tarczą jaką stanowi płyta. Obliczenia przeprowadzono zgodnie z [N6] i [3].

Rygle dachowe i słupy

Rygle dachowe zaprojektowano jako pełnościennie, o stałym przekroju dwuteowym z kształtownika IPE 450, a słupy z dwuteowników HEB 300 ze stali S 235. Sprawdzone stany graniczne nośności i użyteczności oraz stateczność zgodnie z [N6] i [5].

Stężenia dachowe i ścienne

Stężenia dachowe połaciowe poprzeczne zlokalizowano w polach skrajnych rzutu dachu, przy ścianach szczytowych, co pokazano na rysunku 4. Obliczenia wykonano zgodnie z [N6, N7] i [1]. Przyjęto przekroje z kątowników L 50x5, stosując stal S 235.

Tężnik pionowy podłużny zastosowano w przedziałach skrajnych, przy ścianach szczytowych. Zaprojektowano jako skratowanie z kątowników L 100x8 mocowanych na końcach za pomocą trzech śrub M16 klasy 4.8 dla blach węzłowych słupów.

Stopa fundamentowa

Przyjęto stopy fundamentowe o kształcie i wielkości pokazanych

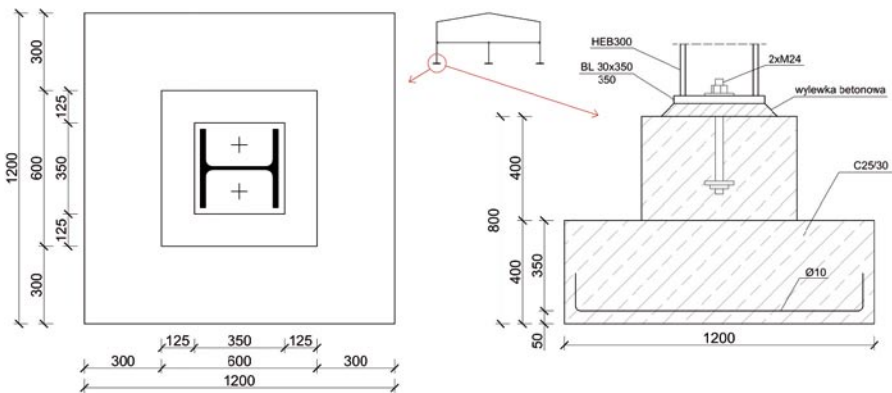
na rysunku 8 z betonu C25/30. Sprawdzone nośność gruntu zgodnie z [N9] i zwymiarowano zbrojenie główne [N5]. Pręty zbrojenia głównego przyjęto z przekroju zębowanego $\varnothing 10$ mm i stali B400. Podstawę słupa zwymiarowano zgodnie z normami [N5, N6, N7] i [2].

3.8. Projektowanie wybranych połączeń

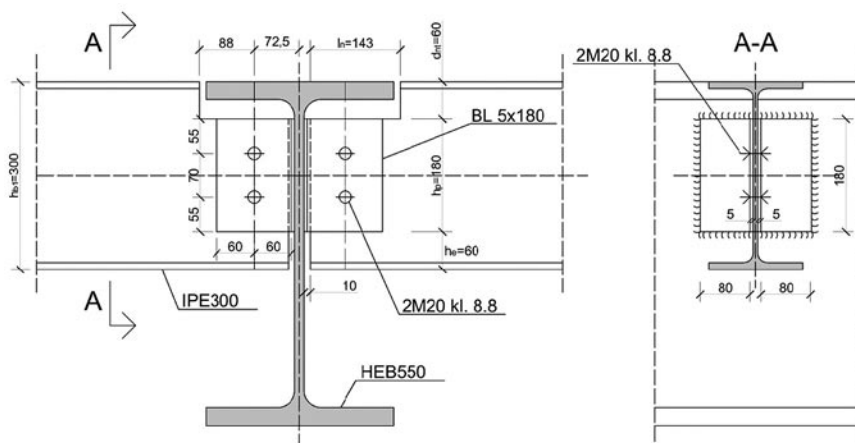
Płatew została podzielona na elementy wysyłkowe. Styki montażowe (rys. 4) rozmieszczono w przekrojach, w których występują najmniejsze wartości momentów zginających. Zastosowano połączenie śrubowe zakładkowe kategorii A tylko na środniku ze względu na praktyczną niewykonalność nakładek uciążlających pasy w przypadku dwuteowników o wysokości $h \leq 140$ mm. Ustalono, że przekładki o grubości 3 mm oraz 4 śruby M12 klasy 4.8 po jednej stronie złącza spełniają niezbędne warunki normowe [N7].

Oparcia belki drugorzędnej na podciągu (rys. 9) przyjęto zgodnie z rozwiązaniem podanym w [4]. Połączenie zrealizowano za pomocą przekładki na środniku z dwu kątowników przyspawanych do podciągu, a śrubowo połączonych z belką stropową. Do połączenia z podciągami zastosowano śruby M20 klasy 8.8.

Połączenie rygla w kalenicy jest połączeniem sztywnym zaprojektowano je jako doczołowe kategorii D. W miejscu styku rygiel został wzmocniony. Schemat połączenia przedstawiono



Rys. 8. Stopa fundamentowa



Rys. 9. Schemat oparcia belki drugorzędnej na podciągu

na rysunku 10. Sprawdzone warunki nośności węzła przy zginaniu, ścinaniu oraz sztywność obrotową połączenia według [2].

Zewnętrzne słupy układu ramowego są sztywno połączone z rygłem dachowym, a sposób rozwiązania połączenia pokazano na rysunku 11. Połączenie słupa z rygłem obliczono z wykorzystaniem metody uproszczonej, tzw. metody współczynników rozdziału opracowanej na podstawie wyników przeprowadzonych badań doświadczalnych według [10]. Zaprojektowano połączenie doczołowe kategorii D na śruby M24 klasy 10.9.

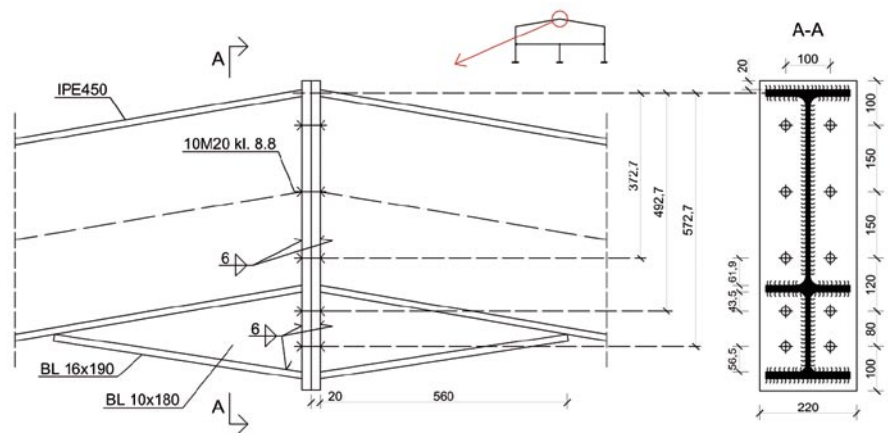
4. Podsumowanie

Zastosowanie w projektowanym obiekcie stropu zespolonego na blasze fałdowej zważywszy na to, że szkielet konstrukcji jest stalowy, może w znacznym stopniu skrócić proces inwestycyjny. Strop zespolony na blasze fałdowej jest ponadto dobrym rozwiązaniem ze względu na to, że w fazie montażu pełni funkcję pomostu roboczego i stanowi traczone deskowanie. Dodatkową zaletą zaprojektowanego stropu jest jego wpływ na sztywność całego obiektu. Przy zastosowaniu ram portalowych co 6,00 m nie jest wymagana dodatkowa konstrukcja podtrzymująca obudowę ścienną. Przyjmując przegubowe połączenie podstawy słupa, znacząco zmniejszono wymiary fundamentu w porównaniu do połączenia sztywnego. Przyjęte schematy styżne oraz rozwiązania konstrukcyjne wpłynęły w znacznym stopniu na liczbę elementów, ciężar oraz koszt inwestycji.

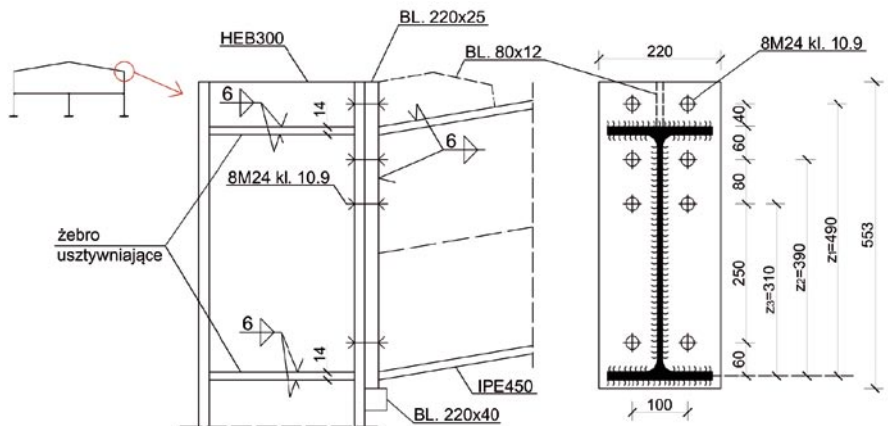
Praca dyplomowa wyróżniona podczas obron prac dyplomowych na studiach I stopnia na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego (03.02.2023 rok).

BIBLIOGRAFIA

[1] Budownictwo ogólne tom 5, stalowe konstrukcje budynków, projektowanie według eurokodów z przykładami obliczeń, Praca zbiorowa pod kierunkiem Mariana Giżejowskiego, Jerzego Ziółki, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2010, ISBN: 978-83-213-4666-3
 [2] Goczek J., Supeł Ł., Gajdzicki M., Przykłady obliczeń konstrukcji stalowych, Politechnika Łódzka 2010, ISBN 978-83-7283-366-2
 [3] Konstrukcje stalowe. Przykłady obliczeń według PN-EN 1993-1. Część pierwsza. Wybrane elementy i połączenia. Pod redakcją Aleksandra Kozłowskiego, wyd. 5, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, ISBN: 978-83-7934-157-3



Rys. 10. Styk kalenicowy rygła



Rys. 11. Schemat połączenia rygła ze słupem

[4] Konstrukcje stalowe. Przykłady obliczeń według PN-EN 1993-1. Część druga. Stropy i pomosty. Pod redakcją Aleksandra Kozłowskiego, wyd. 4, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, ISBN: 978-83-7934-115-3
 [5] Konstrukcje stalowe. Przykłady obliczeń według PN-EN 1993-1. Część trzecia. Hale i wiaty. Pod redakcją Aleksandra Kozłowskiego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, ISBN: 978-83-7934-083-5
 [6] Kucharczuk W., Labocha S., Konstrukcje zespolone stalowo-betonowe budynków. Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 2007, ISBN: 978-83-213-4460-7
 [N1] PN-EN 1990 Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji
 [N2] PN-EN 1991-1-1 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach
 [N3] PN-EN 1991-1-3 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem
 [N4] PN-EN 1991-1-4 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Obciążenie wiatrem
 [N5] PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
 [N6] PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
 [N7] PN-EN 1993-1-8 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-8: Projektowanie węzłów
 [N8] PN-EN 1994-1-1 Eurokod 4: Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
 [N9] PN-EN 1997-1 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne
 [N10] PN-90/B-03200: Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie
 [W1] <https://www.gor-stal.pl/produkty/plyty-warstwowe-gs-pir,107.html> (dostęp: 2.11.2022)